

بررسی آزمایشگاهی اثر شکل هندسی پایه پل در کنترل آب‌شستگی موضعی اطراف آن در قوس رودخانه

علیرضا مسجدی^۱، دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی
عبدالرسول تلوری، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی
حسن کاظمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۹/۲۲

چکیده

تعیین عمق فرسایش در محدوده پایه‌های پل مستلزم آگاهی از نحوه جابه‌جایی مواد رسوبی بستر رودخانه‌ها است. پایه‌های پل جریان عادی رودخانه را مختل می‌کند و تلاطم و اغتشاش حاصل از آن موجب فرسایش مواد رسوبی موجود در اطراف پایه می‌شود. گودال چاله فرسایش ایجاد شده در اطراف پایه به شکل و مشخصات هندسی پایه بستگی دارد. به‌علاوه نوع مواد تشکیل‌دهنده بستر رودخانه و همچنین شرایط هیدرولیکی جریان نظیر وقوع حالت سیلابی و عبور تل‌ماسه‌ها در میزان عمق چاله فرسایش موثر است. از آنجایی که گسترش چاله فرسایش، پایداری سازه پل را به مخاطره می‌اندازد، پیش‌بینی میزان گود افتادگی و اتخاذ تدابیر لازم برای مهار آن از جمله اقدامات مهندسی متداول در عرصه مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. بدین منظور جهت تحقیق در خصوص بررسی اثر شکل هندسی پایه پل در کنترل پدیده آب‌شستگی در اطراف آن در قوس رودخانه، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه و شعاع مرکزی ۲/۸ متر و عرض ۰/۶ متر با $R/B = ۴/۶۷$ با دیواری از جنس پلکسی گلاس انجام پذیرفت. در این پژوهش با قرار دادن یک پایه استوانه‌ای به قطر ۶ سانتی‌متر و مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره به عرض ۶ سانتی‌متر و طول ۱۸ سانتی‌متر در فلوم در موقعیت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه با دبی‌های ۲۴، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ لیتر بر ثانیه و عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر پدیده آب‌شستگی حول پایه‌ها در حالت آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. برای مصالح کف فلوم از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت با $D_{50} = ۲ \text{ mm}$ و ضریب یکنواختی ۱/۳ استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد حداکثر عمق آب‌شستگی هنگام قرار دادن پایه با مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره در طول قوس متناوب بوده و در نیمه اول قوس و در موقعیت ۶۰ درجه بیشترین آب‌شستگی در پایه‌ها ایجاد شد. همچنین آب‌شستگی در تمام حالات در پایه استوانه‌ای نسبت به مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره کمتر مشاهده شد. در کلیه حالات با افزایش دبی جریان در کلیه موقعیت‌ها، عمق آب‌شستگی نیز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بستر رودخانه، عمق فرسایش، قوس ۱۸۰ درجه، مقطع چهارگوش، دماغه نیم‌دایره

مقدمه

پل‌ها عموماً بر روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند، اما اغلب رودخانه‌ها دارای مسیر پرپیچ و خم و به اصطلاح مئاندری هستند. اصولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به‌علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، نظر بر احداث پل در قوس رودخانه صادر شود. در بسیاری از موارد دیده شده است که قسمت شبه مستقیم یک رودخانه که پلی بر روی آن احداث شده است،

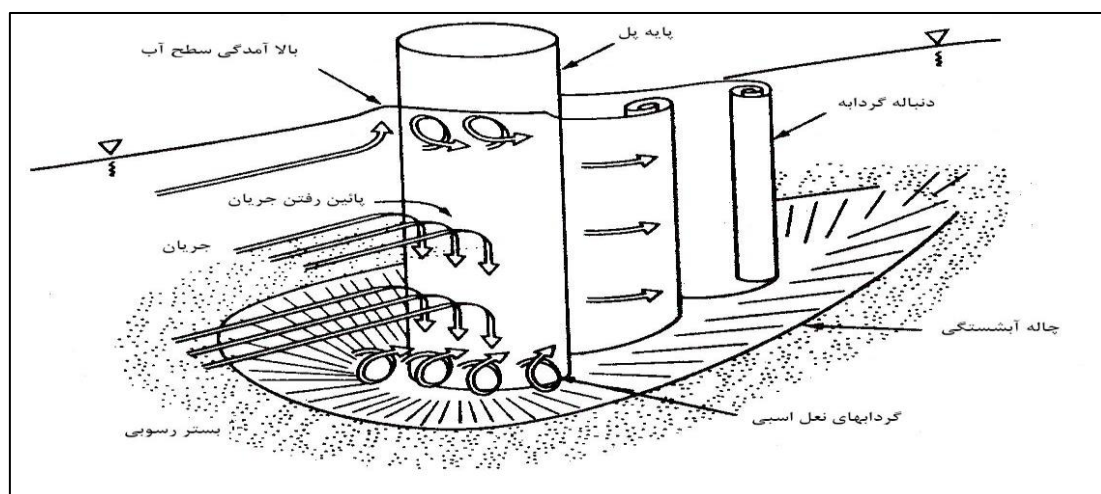
^۱ نویسنده مسئول: Drmasjedi.2007@yahoo.com

در اثر تغییرات طبیعی رودخانه و به مرور زمان به مسیر پیچ و خم‌دار تبدیل شده است. بنابراین پل مورد نظر که طراحی آن براساس شرایط مستقیم انجام گرفته است، با شرایط جدیدی مواجه خواهد شد (صفرزاده، ۱۳۸۳).

قوس رودخانه به خاطر داشتن الگوی خاص جریان به نام جریان حلزونی، همواره مورد توجه مهندسی هیدرولیک بوده است. با ورود جریان به قوس، نیروی گریز از مرکز بر آن اثر می‌کند که این نیرو در راستای شعاع قوس و نیز در جهت عمق به خاطر تغییرات سرعت، متغیر می‌باشد. نیروی گریز از مرکز موجود در خم باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می‌شود که سطح آب را در قوس بیرونی بالا برده و در قوس داخلی باعث کاهش عمق می‌شود. این پدیده باعث ایجاد گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع خواهد شد. هرگاه گرادیان فشار مزبور بر نیروی گریز از مرکز غلبه کند، جریانی در جهت عرضی، داخل مقطع شکل می‌گیرد که به جریان ثانویه موسوم است. در اثر این جریان، ذرات موجود در سطح آب به طرف دیواره بیرونی حرکت کرده و ذرات موجود در کف به طرف دیواره داخلی جابه‌جا می‌شوند. وقوع آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها می‌باشد. بنابراین حفاظت از پل‌ها در برابر آب‌شستگی ضروری است.

پس از برخورد جریان به دماغه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود فشار بیشتری در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود (Raudkivi, ۱۹۹۸). مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً به پایه پل برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکل شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آب‌شستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، به وسیله جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (Nicollet و Breusers, ۱۹۷۷).

در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد و به آن‌ها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گرداب ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین دست کمک می‌کنند. حفر گودال آب‌شستگی به وسیله گرداب نعل اسبی آن قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آب‌شستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آب‌شستگی به حالت تعادل می‌رسد (Raudkivi, ۱۹۹۸). شکل ۱ نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آب‌شستگی موضعی و حفره می‌گردند، را نشان می‌دهد.



شکل ۱- الگوی جریان و حفره آب‌شستگی موضعی اطراف یک پایه پل استوانه‌ای

براساس مطالعات انجام گرفته دو عامل مهم باعث فرسایش در اطراف پایه پل می‌شود. یکی برخورد جریان به پایه پل و دیگری جدا شدن جریان از پایه، در اثر برخورد جریان به پایه گردابه‌های نعل اسبی شکل می‌گیرد. به اعتقاد محققین گرداب نعل اسبی اساسی‌ترین نقش را در فرآیند آب‌شستگی ایفا می‌نماید. شکل هندسی پایه پل در میزان آب‌شستگی اطراف آن و همچنین، بر الگوی جریان موثر است. به‌صورتی که هر چه پایه در مقابل جریان مقاومت کمتری از خود نشان بدهد و جریان دیرتر از آن جدا شود، گرداب‌های ایجاد شده ضعیف‌تر می‌شوند و عمق آب‌شستگی کمتر می‌شود. به‌طوری که Melville و Hadfield (۱۹۹۹) مقدار ضریب تصحیح شکل پایه به‌زای اشکال مختلف را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که پایه با مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره با ضریب تصحیح ۰/۹ از پایه با مقطع استوانه‌ای با ضریب تصحیح یک کمتر می‌باشد.

شرایط الگوی جریان در قوس همراه با پیچیدگی جریان حول پایه، پیچیدگی جریان حول پایه در قوس را بیشتر می‌سازد. تحقیقات انجام شده درباره آب‌شستگی پایه پل در قوس نیز بسیار کم می‌باشد. که از جمله آن‌ها می‌توان Oliveto و Hager (۲۰۰۲)، Raudkivi و Ettema (۱۹۸۳)، Chiew و Melville (۱۹۸۷)، Raudkivi و Coleman و Melville (۱۹۹۱)، Coleman (۲۰۰۲) و Dargahi (۱۹۸۷) اشاره نمود که کلیه مطالعات در آبراهه مستقیم صورت گرفته است. Drinker و Ippen (۱۹۶۲) توزیع سرعت در قوس منظم و با مقطع دوزنقه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. مشاهدات آن‌ها نشان داد که حداکثر سرعت با توجه به مشخصه‌های مدل فیزیکی آن‌ها در کناره داخلی ورودی رخ می‌دهد و سپس توزیع سرعت در عمق به‌سمت یکنواخت شدن میل می‌کند و در زاویه ۶۰ درجه سرعت حداکثر به‌طرف قوس خارجی حرکت می‌کند.

Booij (۲۰۰۳) یک مدل عددی برای قوس ۱۸۰ درجه به روش گردابه‌های بزرگ (LES) برای یک خم بسیار ملایم ارائه داد. نتایج این تحقیق نشان داد جریان ثانویه باعث می‌شود که حداکثر سرعت بیشتر از حالت عادی به بستر نزدیک شود و همین پدیده باعث افزایش آب‌شستگی موضعی در محل دیواره خارجی می‌شود. صفرزاده (۱۳۸۳) تحقیقی در خصوص الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه، توزیع سرعت طولی و عرضی، نحوه شکل‌گیری جریان ثانویه و قدرت آن و تنش برشی بستر و دیواره انجام داد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد بیشترین توزیع سرعت در زاویه ۶۰ درجه به‌دلیل قدرت بالای جریان‌های ثانویه ایجاد می‌شود. امامی و همکاران (۱۳۸۵) آزمایش‌هایی بر روی آب‌شستگی اطراف پایه استوانه‌ای درون قوس ۱۸۰ درجه در حالت آب زلال انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش دبی عمق حداکثر آب‌شستگی در زمان تعادل و نیز ابعاد حفره افزایش می‌یابد. همچنین، پشته حاصل از آب‌شستگی در اثر افزایش دبی گسترده‌تر شده و به دیواره داخلی نزدیک‌تر می‌شود.

با توجه به مرور منابع در این پژوهش قرار است تا به‌منظور بررسی اثر شکل هندسی پایه پل در کنترل آب‌شستگی موضعی اطراف آن در قوس رودخانه پایه استوانه‌ای و پایه با مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره در موقعیت‌های مختلف در فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه با عمق ثابت و برداشت حداکثر عمق آب‌شستگی بستر در دبی‌های مختلف ارتباط بین موقعیت پایه‌ها و مقایسه آن‌ها از نظر حداکثر عمق آب‌شستگی تعیین شود.

مواد و روش‌ها

براساس مطالعات انجام شده توسط سایر محققان، پدیده آب‌شستگی حول پایه از پنج عامل اصلی هندسه مجرا، مشخصات پایه، مشخصات رسوب، خصوصیات جریان و خواص سیال تاثیر می‌پذیرد. در این تحقیق پارامترهای عمق جریان، خصوصیات مصالح بستر و خواص سیال (آب زلال) ثابت بوده و پارامترهای زاویه موقعیت قرارگیری پایه در قوس و دبی جریان در طول آزمایش‌ها متغیر است. با توجه به موارد فوق، رابطه زیر جهت بررسی اثرات متغیرهای موثر بر حداکثر عمق آب‌شستگی تعادل یافته حول پایه در قوس ارائه شد.

$$\frac{dz_{\max}}{b} = f(\theta, Q) \quad (1)$$

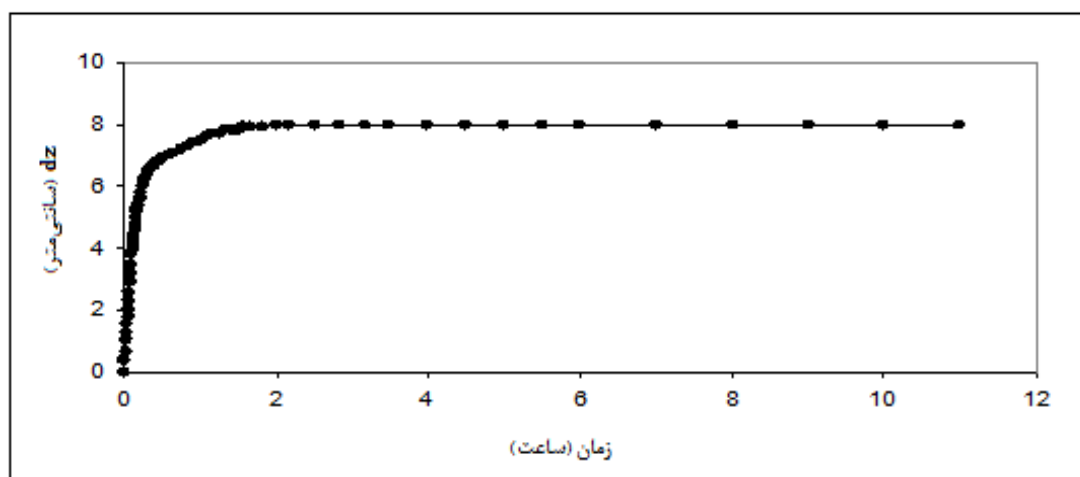
۵۰ باشد (Chiew و Melville, ۱۹۸۷)، در همین راستا Raudkivi و Ettema (۱۹۸۳) این نسبت را ۲۵-۳۰ پیشنهاد نموده‌اند. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل دو میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۳ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. طبق توصیه Oliveto و Hager (۲۰۰۲) که برای جلوگیری از اثرات زبری، عمق آب را بیشتر از ۲۰ میلی‌متر پیشنهاد نموده‌اند، در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر ۱۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تاثیر دبی بر روی آب‌شستگی چهار دبی ۲۴، ۲۸، ۳۰ و ۳۲ لیتر بر ثانیه برای آزمایش بر روی پایه‌های پل‌ها در موقعیت‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در نظر گرفته شد که به وسیله سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شدند. با توجه به اینکه آب‌شستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ($u_* < u_{*c}$) باشد. در این صورت این دبی‌ها به ترتیب سرعت نسبی ۰/۱۷۵، ۰/۱۸۶، ۰/۱۹۳ و ۰/۱۹۸ را دارا بودند. در تمام آزمایش‌ها جریان به صورت زیر بحرانی ($Fr < 1$) بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌ها در شرایط مختلف

آزمایش	نوع پایه	عمق جریان (m)	دبی جریان (m^3/s)	متوسط سرعت (m/s)	عدد فرود	موقعیت پایه در قوس (درجه)	حداکثر عمق آب‌شستگی (dz_{max} / b)
۱	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۳۰	۰/۰۸
۲	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۳۰	۰/۴۵
۳	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۳۰	۰/۸۵
۴	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۳۰	۱/۱۱
۵	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۶۰	۰/۳
۶	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۶۰	۰/۹۱
۷	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۶۰	۱/۲۳
۸	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۶۰	۱/۵۱
۹	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۹۰	۰/۲
۱۰	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۹۰	۰/۶۸
۱۱	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۹۰	۱/۲۱
۱۲	استوانه‌ای	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۹۰	۱/۴۸
۱۳	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۳۰	۰/۲۳
۱۴	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۳۰	۰/۶۳
۱۵	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۳۰	۱/۰۲
۱۶	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۳۰	۱/۲۵
۱۷	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۶۰	۰/۴۸
۱۸	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۶۰	۱/۰۷
۱۹	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۶۰	۱/۴
۲۰	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۶۰	۱/۶۵
۲۱	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۹۰	۰/۳۸
۲۲	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۲۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۹۰	۰/۹
۲۳	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۹۰	۱/۴
۲۴	مکعب با دماغه نیم‌دایره	۰/۱۲	۰/۰۳۲	۰/۴۴	۰/۴۱	۹۰	۱/۷

برای محاسبه زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی بر روی هر دو مقطع پایه در دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه در موقعیت ۶۰ درجه انجام شد. با توجه به نمودار شکل ۳ مشاهده شد که در سه ساعت اول تقریباً ۹۷ درصد آب‌شستگی

رخ می‌دهد که با نتایج Chiew و Melville (۱۹۸۷) مطابقت دارد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل سه ساعت در نظر گرفته شد (شکل ۴).



شکل ۴- زمان تعادل در موقعیت ۶۰ درجه و دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه

برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا پایه با مقطع استوانه‌ای در موقعیت مورد نظر نصب شد. سپس رسوبات کف به‌وسیله ارابه تسطیح متحرک به‌طور یکسان در جهت طولی و عرضی در سراسر فلوم گسترانده شد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریبیل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی شد و به آرامی به‌وسیله شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. سپس با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پایین‌دست عمق جریان ۱۲ سانتی‌متر و دبی مورد نظر حاصل شد. همین شرایط برای پایه با مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره انجام شد.

پس از گذشت سه ساعت، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، به‌وسیله عمق‌سنج با دقت میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه در موقعیت‌ها و دبی‌های مختلف برداشت شد. در طول آزمایش حداکثر عمق آب‌شستگی در بالادست پایه‌ها در یک نقطه به‌وسیله عمق‌سنج با دقت میلی‌متر برداشت شد. پس از زمان تعادل دریچه انتهایی کانال به آرامی باز شد تا آب به آرامی از درون کانال تخلیه شود. به‌منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت دو سانتی‌متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مجموع کل نقاط برداشت شده برای ۲۴ آزمایش در طول تمام آزمایش‌ها جهت تشکیل شبکه توپوگرافی بستر و جزئیات آن ۲۰۰۰۰ نقطه بود.

نتایج و بحث

در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه گردابه‌ها تشکیل و آب‌شستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آب‌شستگی رسوب برخاسته از حفره به سمت پایین‌دست منتقل شد. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آب‌شستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تاثیر پایه بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت پایه ناچیز می‌شود. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آب‌شستگی تحت تاثیر جریان ثانویه به سمت جداره داخلی منتقل گشته و تعداد دو و یا بیشتر دیون کوچک در جداره داخلی تشکیل می‌شود. همچنین، در همین محدوده در جداره خارجی قوس بسته به شرایط هیدرولیکی جریان، رسوب‌گذاری با حداقل آب‌شستگی ایجاد می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- فروافتادگی و رسوب‌گذاری در پایین‌دست پایه‌های استوانه‌ای و مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره به دلیل انحراف جریان

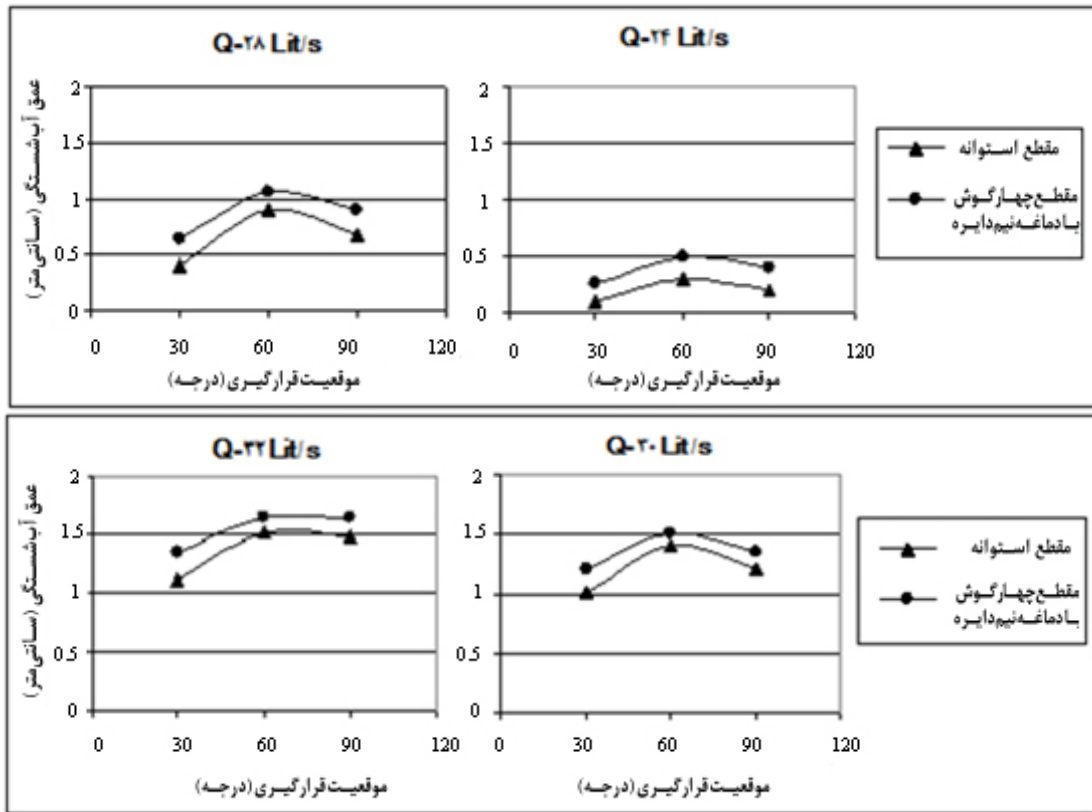
تأثیر موقعیت قرارگیری پایه در قوس بر حداکثر عمق آب‌شستگی اطراف آن: به دلیل تفاوت در الگوی جریان در موقعیت‌های مختلف در قوس، نصب پایه در موقعیت‌های مختلف هم بر توپوگرافی بستر و هم بر حداکثر آب‌شستگی در اطراف پایه تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشت. در شکل ۶ تغییرات حداکثر عمق آب‌شستگی پایه‌ها در دو مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در سه موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان داده شده است. نتایج نشان داد حداکثر عمق آب‌شستگی هنگام قرار دادن پایه با مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره در طول قوس متناوب بوده و در نیمه اول قوس و در موقعیت ۶۰ درجه بیشترین آب‌شستگی در پایه‌ها ایجاد شد. همچنین آب‌شستگی در تمام حالات در پایه استوانه‌ای نسبت به مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره متوسط هفت درصد کمتر مشاهده شد. در کلیه حالات با افزایش دبی جریان در کلیه موقعیت‌ها، عمق آب‌شستگی نیز افزایش یافت. نتایج آزمایشگاهی Ippen و Drinker (۱۹۶۲)، صفرزاده (۱۳۸۳) و امامی و همکاران (۱۳۸۵) در خصوص الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه نشان داد بیشترین توزیع سرعت در زاویه ۶۰ درجه به دلیل قدرت بالای جریان‌های ثانویه ایجاد می‌شود که در نتیجه باعث ایجاد بیشترین عمق آب‌شستگی در این موقعیت می‌شود.

تغییرات عمق آب‌شستگی نسبت به عدد فرود در قوس: در شکل ۷ تغییرات نسبت حداکثر عمق آب‌شستگی به قطر پایه‌ها و عدد فرود در دو مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای در سه موقعیت ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه ملاحظه می‌شود. با توجه به شکل ۷، با افزایش عدد فرود، سرعت جریان و قدرت گرداب‌های تشکیل شده در اطراف پایه‌ها افزایش می‌یابد که باعث افزایش آب‌شستگی در اطراف پایه‌ها می‌شود. همچنین، حداکثر عمق آب‌شستگی در تمام حالات در پایه استوانه‌ای نسبت به مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره کمتر مشاهده می‌شود.

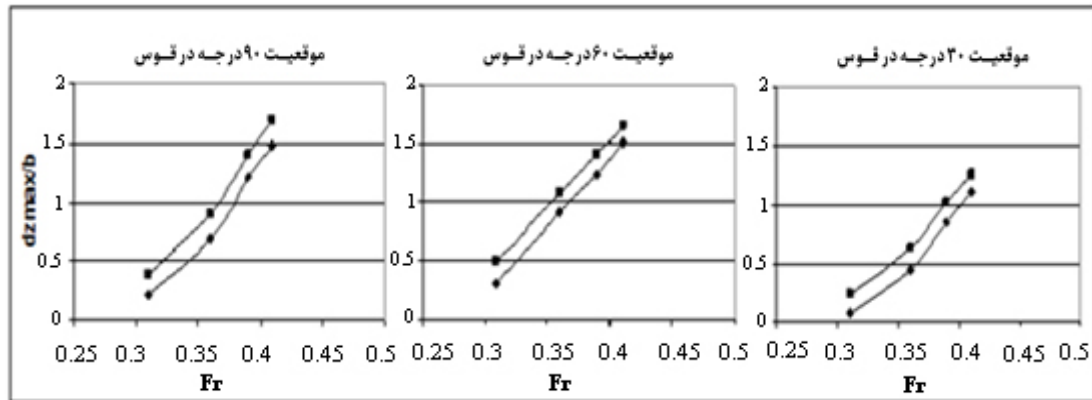
در این پژوهش آزمایش‌ها جهت اندازه‌گیری حداکثر عمق آب‌شستگی پایه‌ها در دو مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره‌ای مستقر در قوس ۱۸۰ درجه با هدف بررسی تأثیر شکل هندسی پایه پل در کنترل آب‌شستگی موضعی اطراف آن انجام گرفت. متغیرهای موثر در این پژوهش موقعیت قرارگیری پایه در قوس و شدت جریان بود. نتایج این پژوهش به صورت زیر بیان می‌شود:

۱. حداکثر عمق آب‌شستگی هنگام قرار دادن پایه با مقطع استوانه‌ای و چهارگوش با دماغه نیم‌دایره در طول قوس متناوب بوده و در نیمه اول قوس و در موقعیت ۶۰ درجه بیشترین آب‌شستگی در هر دو پایه ایجاد شده است.
۲. متوسط عمق حداکثر آب‌شستگی در تمام حالات در پایه استوانه‌ای نسبت به مقطع چهارگوش با دماغه نیم‌دایره هفت درصد کمتر مشاهده شد.
۳. با افزایش عدد فرود، سرعت جریان و قدرت گرداب‌های تشکیل شده در اطراف پایه‌ها افزایش یافت که باعث افزایش آب‌شستگی در اطراف پایه‌ها شد.

۴. طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش، توصیه می‌شود در کارهای اجرایی در صورت امکان از شکل پایه استوانه‌ای برای پایه پل استفاده شود.



شکل ۶- مقایسه حداکثر عمق آبشستگی در پایه‌ها در موقعیت‌های مختلف



شکل ۷- تغییرات عمق آبشستگی بدون بعد نسبت به عدد فرود در قوس

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ی.، م. میرباقری، ا. دهقانی و م. قدسیان. ۱۳۸۵. آبشستگی اطراف پایه استوانه‌ای شکل در یک قوس ۱۸۰ درجه. هفتمین سمینار بین‌المللی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۲. صفرزاده، ا. ۱۳۸۲. شبیه‌سازی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۵ صفحه.
3. Breusers, H.N.C., G. Nicollet and H.W. Shen. 1977. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research, 15(3): 211-252.

4. Breusers, H.N.C. and A.J. Raudkivi. 1991. Scouring, hydraulic structure design manual. No.2, IAHR, Balkema, 143 pages.
5. Booij, R. 2003. Measurements and large eddy simulations of some curved flumes. *Journal of Turbulence*, 4(1): 8-8.
6. Chiew, Y.M. and B.W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25:1:15-26.
7. Dargahi, B. 1987. Controlling mechanism of local scouring. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 116(10):1197-1214.
8. Ippen, A.T. and P. Drinker. 1962. Boundary shear stress in curved trapezoidal channels. *Journal of Hydraulic Division*, 88(HY5).
9. Melville, B.W. and A.C. Hadfield. 1999. Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 125(11): 1221-1224.
10. Melville, B.W. and S.E. Coleman. 2002. Bridge scour. Water Resources Publications, LLC, Colorado, USA.
11. Oliveto, G. and W.H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 128(9):811-820.
12. Raudkivi, A.J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers*, 109(3):339-350.
13. Raudkivi, A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam; Brookfield, VT: Balkema. 496 pages.

Laboratory investigation of basic geometry of the bridge on scour control around the river bend

Ali Reza Masjedi¹, Associate Professor, Department of Water Engineering, Ahvaz Unit, Islamic Azad University, Iran

Abdol Rasoul Telvari, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Unit, Islamic Azad University, Iran

Hasan Kazemi, MSc Student, Sciences and Researches Unit of Ahvaz, Islamic Azad University, Iran

Received: 14 July 2012

Accepted: 12 December 2012

Abstract

Determination of the erosion depth at the base of the bridge requires knowledge of how to move the river bed sediments. The base of bridge disrupts the normal flow of the river, so turbulence and disturbance resulting in erosion of sediments surrounding the base. The hole created around the base depends on the shape and geometric properties. Moreover, ingredients of river bed and also flow hydraulic conditions such as flood conditions and dune cross can effect on depth of the hole. Since, development of erosion hole hazards the structural stability of the bridge. So predict for amount of hole and necessary measures to suppression are considered as common engineering practices in river engineering. For investigation of basic geometry of the bridge on control scouring around the river bend an experiment in a laboratory flume was done with a 180-degree bend, 2.8 m for central radius, 0.6 m wide and $R/B=4.67$ under the walls made of Plax glass. In this study, clear-water scour around the base were studied by putting a basic cylinder with 6 cm diameter, foursquare section, semicircle tip with 6 cm width and 18 cm length in flume at positions 30, 60 and 90 degrees, with rates of 24, 28, 30 and 32 liters per second and a constant depth of 12 cm. For flooring of flume a natural sand by uniform gradation with $D_{50}=2$ mm and uniformity coefficient of 1.3 were used. The results of this experiment showed that the maximum scour depth during placing the base with cylindrical section and foursquare section with the semicircle tip were alternative during the bend length and in the first half of the bend and at the position of 60 degrees had the maximum scour at the base. Also, scouring in all cases was lower for base with cylindrical section as compared to foursquare section with semicircle tip. In all conditions, increasing of flow have been increased the scour depth.

Key words: 180 degree bend, Erosion depth, Foursquare section, River bed, Semicircle tip

¹ Corresponding author: Drmasjedi.2007@yahoo.com